



Etude expérimentale d'un jet laminaire impactant une plaque plane chauffée

Fabien Candelier, Philippe Bournot, Philippe Caminat, Zakaria Ghrab

► To cite this version:

Fabien Candelier, Philippe Bournot, Philippe Caminat, Zakaria Ghrab. Etude expérimentale d'un jet laminaire impactant une plaque plane chauffée. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00156724

HAL Id: hal-00156724

<https://hal.science/hal-00156724>

Submitted on 29 Aug 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ETUDE EXPERIMENTALE D'UN JET LAMINAIRE IMPACTANT UNE PLAQUE PLANE CHAUFFEE

Fabien CANDELIER¹, Philippe BOURNOT¹, Philippe CAMINAT¹, Zakaria GHRAB²

¹ Institut de Mécanique de Marseille, Aix-Marseille Université,
IM2/UNIMECA, Technopôle de Château-Gombert, 60 rue Joliot Curie, 13453 Marseille.

² Stagiaire de l'Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie (Tunisie)

Fabien.Candelier@univmed.fr

Résumé : Ce travail, de nature expérimentale, est consacré à l'étude d'un jet laminaire axisymétrique impactant une plaque plane horizontale chauffée et dont la température est maintenue fixe à l'aide d'un système d'asservissement. En particulier, nous nous intéressons au lieu de décollement de la couche limite cinématique et thermique du fluide et dont la distance à l'axe du jet traduit la compétition entre les effets d'inertie qui, dans les régimes d'écoulement considérés ici, sont stabilisateurs, puisqu'ils ont tendance à plaquer le fluide sur la paroi, et les effets de flottabilité, qui inversement ont tendance à déstabiliser l'écoulement.

1. INTRODUCTION

Dans de nombreuses applications industrielles, les jets sont employés dans le but de contrôler la température de surface d'un corps par convection forcée. Notons que l'épanouissement d'un jet laminaire impactant une plaque plane isotherme a fait par le passé, l'objet de recherches actives, aussi bien théorique (voir [1]) qu'expérimentale (voir [2]) ou numérique (voir [3]). Cependant, lorsque qu'un jet impacte une plaque horizontale dont la température est supérieure à celle du fluide, la dynamique de l'écoulement qui est en résulte devient complexe, dans la mesure où il se produit une compétition entre les effets de flottabilité engendrés par la différence de température entre la plaque et le fluide, et les effets d'inertie. En pratique, cette compétition se traduit par le décollement de la couche limite cinématique et thermique du fluide sur la plaque, à une distance plus ou moins éloignée de l'axe de la buse. Bien entendu, ce décollement de la couche limite a un effet important sur la quantité de chaleur échangée entre la plaque et le fluide, et donc, sur la qualité du refroidissement de la plaque. Compte tenu de la nature très instable d'une telle configuration, il existe dans la littérature peu de résultats expérimentaux concernant ce problème dans le cadre des écoulements laminaires et ce dernier point a également motivé ce travail.

Pour mener à bien cette étude, un dispositif expérimental a été conçu à L'IM2 (voir figure 1). Celui est constitué d'une plaque rectangulaire en cuivre, de 1,5 cm d'épaisseur et de surface : 28 x 20 cm². Cette dernière est maintenue à une température fixe par effet joule à l'aide d'une résistance électrique reliée à un système de régulation. De l'air à température ambiante et dont le débit est contrôlé à l'aide d'un rotamètre, est ensuite acheminé vers la plaque de manière à l'impacter perpendiculairement. Notons que sur son trajet, et avant d'impacter la plaque, l'air estensemencé à l'aide de micros gouttes de glycérine, cela dans le but de pouvoir effectuer une visualisation de l'écoulement lorsque celui-ci s'écoule le long de la plaque chauffée. Enfin, et compte tenu des faibles vitesses mises en jeux dans ces expériences, le dispositif est confiné afin d'éviter que des perturbations extérieures viennent influencer les résultats.

Le but de cette étude est de parvenir à caractériser le lieu de décollement de la couche limite en fonction de 3 paramètres (voir l'encart sur la figure 1), à savoir, la hauteur de la buse par rapport à la plaque, la différence de température entre la plaque et le fluide et le débit imposé (i.e. le nombre de Reynolds).

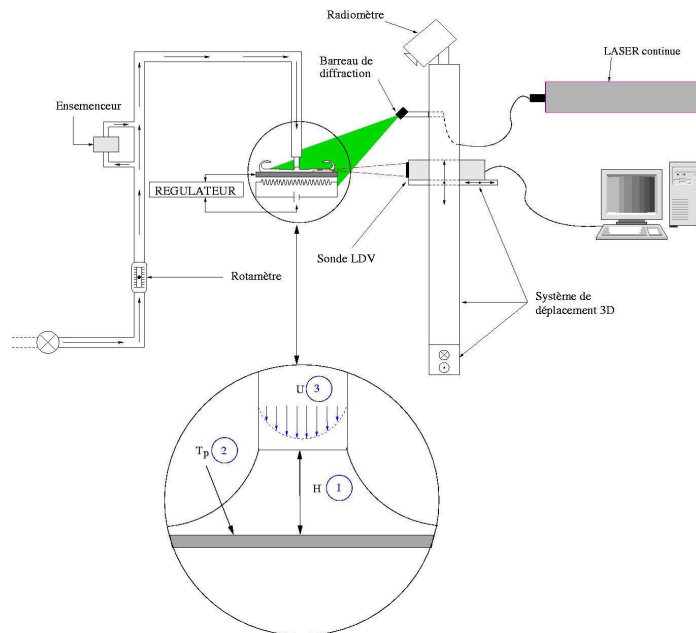


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental et de son instrumentation.

Dans ces investigations expérimentales, le lieu du point de décollement est mis en évidence par tomographie laser : une fine nappe laser éclaire l'écoulement perpendiculairement au champ de visée d'un appareil photo numérique, de manière à réaliser une coupe transversale de l'écoulement passant par l'axe de la buse. Pour extraire les coordonnées du point de décollement de la couche limite, les images sont ensuite traitées numériquement à l'aide d'un outil numérique développé pour l'occasion (sous Matlab). Il est à noter que malgré toutes les précautions adoptées lors des expériences (notamment le confinement du dispositif expérimental, etc....) la position du point de décollement fluctue légèrement autour d'une certaine valeur, du fait de la grande sensibilité du système à la moindre perturbation et que de ce fait nous réalisons une moyenne statistique sur un échantillon de 5 photographies par configuration étudiée. Par ailleurs, nous retenons comme incertitude pour le lieu du point de décollement, l'écart maximal à la valeur moyenne.

2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Avant de décrire les résultats obtenus lors de ces expériences, précisons que le profil de vitesse en sortie de buse correspond à un profil laminaire pleinement développé (profil parabolique), ce qui a d'ailleurs été vérifié de manière systématique à l'aide de la sonde LDV. De ce fait, nous introduisons alors un nombre de Reynolds (Re) calculé à partir de la vitesse débitante et le diamètre de la buse. Dans ce qui suit, nous allons maintenant présenter les résultats expérimentaux obtenus et qui concernent respectivement l'influence du nombre de

Reynolds, du gradient de température et de la hauteur de la buse, sur le lieu de décollement de la couche limite, Avant cela, précisons

2.1. Influence du nombre de Reynolds

Lorsque le nombre de Reynolds augmente, le point de décollement s'éloigne de l'axe de la buse, ce qui se conçoit aisément dans la mesure où les effets d'inertie qui, dans le régime d'écoulement considéré ici, sont stabilisateurs. Ainsi, la figure 2 présente une série de clichés caractéristique des expériences réalisées et obtenue pour des nombres de Reynolds différents pour un gradient de température fixe (ici de 33 °C). L'éloignement du lieu du point de décollement en fonction de l'augmentation du débit imposé apparaît clairement.

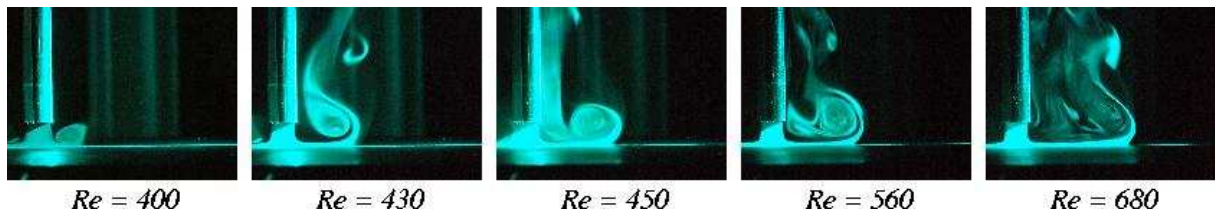


Figure 2 : Influence du nombre de Reynolds sur le lieu de décollement de la couche limite ($\Delta T = 33$ °C).

De manière plus quantitative, la figure 3 nous donne le lieu de décollement de la couche limite (normalisé par le diamètre de la buse) en fonction du nombre de Reynolds et cela pour les différents gradients de températures imposés lors de nos expériences. Le premier constat qu'il est possible de faire, au regard de ces résultats, est qu'il semble que la loi d'évolution du lieu de décollement de la couche limite en fonction du nombre de Reynolds présente une brisure pour un nombre de Re proche de 450. L'explication la plus vraisemblable que l'on peut apporter est qu'en deçà d'une certaine valeur de Re, la couche limite décolle alors que le régime d'écoulement pariétal (voir [1]) n'est pas encore établi et la différence de dynamique de la vitesse radiale entre la zone d'accélération du jet (dans la zone proche du point d'impact) et ensuite de décélération (dans la zone pariétale) pourrait être à l'origine des différences constatées.

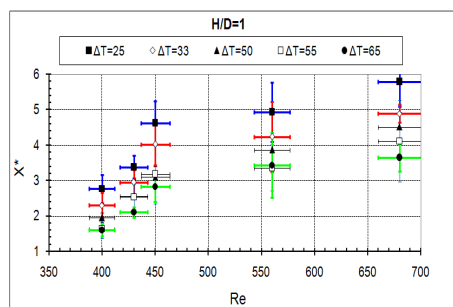


Figure 3 : Evolution quantitative du lieu de décollement en fonction du nombre de Reynolds ($H=D$).

2.2. Influence de la température de la plaque

En ce qui concerne l'influence du gradient de température sur le lieu de décollement, celle-ci semble plus facile à appréhender. En effet, sur les clichés de la figure 4, où le nombre de Reynolds est de 430, et plus précisément sur le graphe de figure 5, nous pouvons voir que l'évolution du lieu de décollement en fonction de la différence de

température entre la plaque Figure 4 : Influence de la différence de température de la plaque par rapport au fluide sur le lieu de décollement de la couche limite ($H=D$).

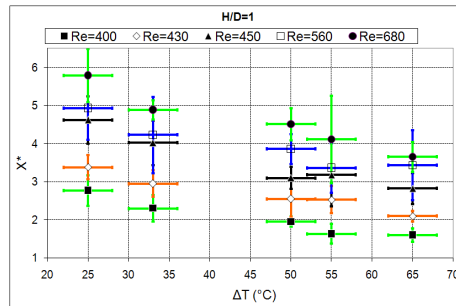


Figure 5 : Evolution quantitative du lieu de décollement en fonction de ΔT (°C).

2.3. Influence de la hauteur de la buse

A présent, nous nous intéressons à l'influence de la hauteur de la buse sur le lieu de décollement de la couche limite. Sur la figure 6, nous pouvons voir trois clichés représentatifs des résultats obtenus, correspondant à trois hauteurs de buses différentes, ici avec un nombre de Reynolds de 450 et une différence de température entre la plaque et le fluide de 65 °C.

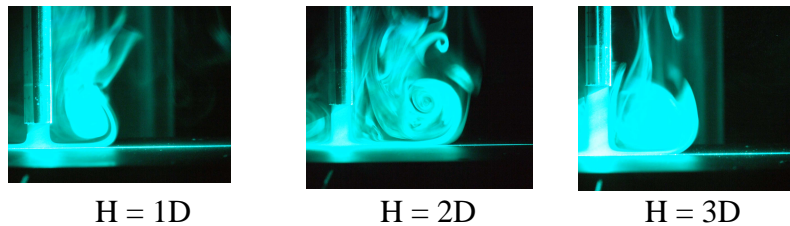


Figure 6 : Influence de la distance de la buse sur le lieu de décollement ($\Delta T=65^\circ\text{C}$, $Re=450$)

La tendance qui se dégage des résultats expérimentaux est que l'influence de la hauteur de la buse n'est pas monotone. En particulier, lorsque la buse est située à une hauteur égale à 2 diamètres de la plaque, le lieu de décollement de la couche limite se produit à une distance à l'axe de la buse supérieure au cas où la buse n'est placée qu'à un diamètre de la plaque. En revanche, lorsque la buse est éloignée davantage (3 diamètres) nous observons la tendance inverse.

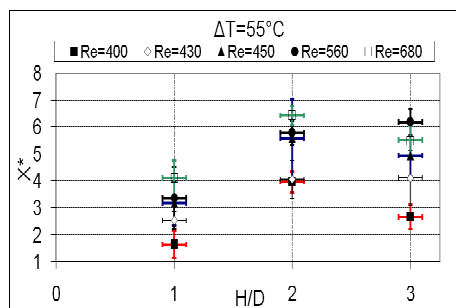


Figure 7 : Evolution quantitative du lieu de décollement en fonction de H

L'explication la plus plausible, mais qui nécessite néanmoins un approfondissement, qui sera réalisé ultérieurement, est que plus la buse est éloignée de la plaque, plus le débit

d'entraînement généré par le jet est important. Expérimentalement, nous constatons alors que l'écoulement est plus sensible aux perturbations et bien qu'en augmentant la hauteur de la buse, les effets d'inertie augmentent, il est probable qu'au delà d'une certaine hauteur, le décollement de couche limite soit le résultat d'un accroissement de la sensibilité du système aux instabilités.

CONCLUSION

Dans les études qui ont été réalisées, il est à noter la bonne reproductibilité des expériences qui nous ont permis de caractériser de manière non ambiguë l'effet des différents paramètres étudiés sur le lieu de décollement de la couche limite. Par exemple, l'analyse des résultats expérimentaux concernant l'influence du nombre de Reynolds et l'influence de ΔT , nous a permis d'extraire une loi empirique suivante (valable pour $H/D = 1$) :

$$X/D \propto Re^{0,56} \Delta T^{-0,47} \quad (1)$$

à condition que $Re > 450$. Actuellement, nous travaillons sur la modélisation analytique de cet écoulement, en nous appuyant notamment sur les travaux de Glauert (1956) [1], en vue de parvenir à déterminer un critère analytique de décollement de la couche limite faisant intervenir les différentes impliquées dans ce phénomène. Ce dernier point constitue donc les perspectives de ce travail.

Nomenclature

T	température.	<i>Symboles grecs</i>
D	diamètre interne de la buse	ν viscosité cinématique, $m^2.s^{-1}$
U	vitesse débitante	<i>Indices et exposants</i>
ΔT	différence de température : $T_f - T_p$	p paroi
Re	nombre de Reynolds : UD/ν	f fluide
X^*	lieu du décollement normalisé par D	
H	distance entre la buse et la plaque	

Références

- [1] M.B. Glauert, The Wall Jet, *J. Fluid Mech.* 1, pp 625-643, 1957.
- [2] R.A. Bajura et A.A. Szewczyk, Experimental Investigation of Laminar Two-dimensional Plane Wall Jet, *Phys. Of Fluids* 13 (7), pp 1653-1664, 1970.
- [3] M.D. Deshpande et R.N. Vaishnav, Submerged laminar jet impingement on a plane, *J. Fluid Mech.* 114, pp 213-236, 1982.